

## **Desenvolvimento de um índice de apoio à decisão para a gestão de intervenções em elementos escultóricos**

### ***Development of decision making indicators helping the management of interventions in decorative elements***

Esmeralda PAUPÉRIO<sup>1</sup>, Xavier ROMÃO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Construct – LESE - Instituto da Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, [pauperio@fe.up.pt](mailto:pauperio@fe.up.pt)

<sup>2</sup> Construct – LESE - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, [xnr@fe.up.pt](mailto:xnr@fe.up.pt)

**Resumo:** Quando se desenvolvem estratégias de intervenção para a preservação/reabilitação de património cultural edificado, devem ser tidos em consideração diversos condicionalismos. Estes relacionam-se com a salvaguarda da autenticidade e da integridade, com o significado patrimonial da construção, os requisitos de segurança e durabilidade, bem como com o tempo e o orçamento disponíveis para a fase de obra. De modo a auxiliar o processo de decisão de reabilitação de elementos escultóricos de betão armado do início do séc. XX, propõe-se a definição de um índice que pondera qualitativa e quantitativamente os critérios que influenciam o tipo de intervenção. Apresenta-se, ainda, uma aplicação do referido índice aos caso dos elementos escultóricos da fachada do Teatro Nacional de São João no Porto, Portugal.

**Palavras-chave:** processo de decisão, conservação, património edificado, gestão das intervenções

**Abstract:** Natural deterioration caused by the ageing of the materials and their exposure to severe environmental conditions leads to a significant increase of the vulnerability of constructions. When facing the need to make conservation interventions to preserve or restore degraded cultural heritage elements, there are a number of restrictions that must be dealt with. Such restrictions are related to the safeguarding of the heritage's cultural value and significance that has to be weighed against safety and durability requirements, as well as against duration and budget constraints of the intervention. To assist in this decision-making process, a methodology is proposed which consists of an intervention index that gauges the criteria influencing the type of intervention. The development of this index is presented for the decision-making process related to the conservation intervention scheduled for the reinforced concrete decorative elements of the 20th century Teatro Nacional de São João (São João National Theatre), in Porto, Portugal. The selected criteria are presented and the advantages of the proposed procedure for the development of a sustainable conservation plan are addressed.

**Key-words:** decision-making process, conservation, cultural heritage, management of interventions

## **1. Introdução**

A conservação do património histórico edificado em betão armado do início do século XX enfrenta novos desafios associados à necessidade da sua consolidação, conservação e reparação.

A deterioração natural, provocada pelo inevitável envelhecimento dos materiais de construção e da sua exposição aos agentes atmosféricos, conduziu a um considerável aumento da vulnerabilidade deste tipo de construções. No entanto, existem outros agentes de degradação que ameaçam estas construções, tais como operações de reabilitação inapropriadas, a falta de manutenção ou o abandono a que são votadas.

O facto é que a necessidade de reabilitar as construções de betão do início do séc. XX é uma preocupação que somente agora começa a ser premente e que requer uma abordagem diferente da utilizada em edifícios mais antigos de alvenaria e madeira. Dado que a prática de reabilitação deste tipo de edifícios é ainda

recente, verifica-se uma falta de experiência e de conhecimento adquirido, bem como acerca do comportamento destas reabilitações face à ação do tempo e às compatibilidades materiais. Estes aspetos são particularmente importantes quando se trata da reabilitação de elementos decorativos e escultóricos executados em betão (ou cimento) armado em que a mão do artista é fator de autenticidade.

Neste contexto, o presente trabalho propõe um índice  $I_T$  que pondera vários fatores que influenciam o tipo de intervenção a realizar, procurando um equilíbrio adequado entre esses diferentes fatores condicionantes, e que deverá auxiliar o processo de decisão relativamente ao tipo de intervenção a implementar em elementos decorativos e escultóricos. O referido índice pondera a influência de diversos critérios qualitativos e quantitativos, classificando-os de acordo com as características dos elementos decorativos ou escultóricos em análise. De modo a ilustrar o desempenho da abordagem proposta, apresenta-se um exemplo que envolve a sua aplicação aos elementos decorativos presentes na fachada do Teatro Nacional São João localizado na cidade do Porto, Portugal, o qual foi construído no início do século XX. O presente artigo apresenta ainda uma análise detalhada dos critérios selecionados, apontando-se as vantagens do procedimento proposto no desenvolvimento de um plano de conservação ajustável ao cumprimento dos critérios de segurança e simultaneamente de autenticidade e identidade.

## **2. Degradação do betão e outros fatores a ter em conta nas intervenções de conservação de elementos escultóricos**

O betão armado, composto por ligante, inertes e aço, forma um material compósito com um reduzido ciclo de vida, se comparado com o de outros materiais de construção tradicionais como a pedra ou a madeira. Existem diversos fatores e mecanismos de degradação do betão que são específicos das construções históricas, tais como a qualidade do material e mão-de-obra empregue na construção ou problemas relacionados com a deficiente consolidação durante o processo de cofragem (Gaudette and Slaton, 2007). Contudo, o processo de deterioração do betão mais grave é aquele que também é encontrado nas construções modernas. Tais processos de degradação do betão podem, geralmente, ser agrupados de acordo com as seguintes categorias (Bertolini et al., 2004): físicas (causadas por variações térmicas naturais, tais como ciclos gelo-degelo, ou artificiais, como as que são produzidas por incêndios), mecânicas (abrasão, erosão, impactos, explosões), químicas (ataques por ácidos, sulfatos, iões de amónio e magnésio, água pura, ou reações álcali-agregado), biológicas (crostas, ataques biogénicos) e estruturais (sobrecargas excessivas, assentamentos de apoio, carregamentos cíclicos). No que diz respeito aos indicadores visuais destes processos de degradação, os que mais afetam a durabilidade dos elementos em betão são as fissuras, os destacamentos e as desintegrações, podendo cada uma delas ocorrer de formas diferentes (Mailvaganam, 1992).

Entre as várias causas de degradação, a corrosão do aço das armaduras dos elementos de betão armado é, porventura, o mais grave de todos os problemas enumerados (Page, 2012). Normalmente, os varões de aço embebidos no betão encontram-se protegidos contra a corrosão pela camada de recobrimento do betão e pela elevada alcalinidade do próprio betão. Esta proteção, contudo, poderá ser destruída de duas formas. A primeira resulta da carbonatação que ocorre quando o dióxido de carbono no ar reage quimicamente com a pasta de cimento na superfície, reduzindo a alcalinidade do betão. A segunda resulta dos iões cloreto provenientes de sais que se combinam com a mistura produzindo um eletrólito que corrói os varões de aço. Os cloretos poderão provir de aditivos com água do mar empregues na mistura original ou da exposição prolongada aos sais ou a ciclos de gelo/degelo.

Independentemente da causa, a corrosão dos varões de aço aumenta o seu volume, causando forças expansivas no interior do betão. A fissuração e o destacamento do betão são o resultado mais importante deste fenómeno expansivo. A ocorrência de manchas de ferrugem na superfície do betão é outro dos indicadores que mostra que a corrosão se está a desenvolver no interior do betão. Em última análise, a corrosão dos elementos de aço reduz a segurança e a estabilidade dos elementos de betão armado, uma vez que diminui a área efetiva de aço de cada varão, o que poderá conduzir ao seu colapso. Uma vez que a origem

do processo de deterioração ocorre, usualmente, no interior do elemento de betão, as metodologias de reparação disponíveis podem ser consideradas demasiado intrusivas. Portanto, esta fonte de degradação é especialmente difícil de resolver quando envolve a reparação de elementos decorativos em betão armado ou esculturas, uma vez que as operações de conservação poderão destruir a sua autenticidade (**Figura 1**).



**Figura 1** – Elementos escultóricos e decorativos em betão armado com degradação material resultante da corrosão de armaduras

Com base nos aspetos referidos, observa-se que os problemas relacionados com a conservação de elementos decorativos de betão armado levantam questões importantes relacionadas com a salvaguarda do valor e do significado cultural do património, as quais deverão ser definidas em função das necessidades de segurança e durabilidade destes elementos. O processo de análise da estratégia de intervenção a empregar na preservação, reabilitação e restauro de elementos históricos degradados deve envolver uma ponderação de diversos fatores relevantes, tais como:

- A autenticidade do elemento
- A repetitividade do elemento
- Os requisitos de durabilidade
- A influência do tipo de intervenção sobre o cumprimento do prazo do projeto de conservação
- O risco associado ao colapso e queda do elemento
- A evolução do estado de degradação do elemento nos últimos anos
- A possibilidade de substituição do elemento

Para auxiliar a análise e o processo de decisão sobre a abordagem de intervenção mais adequada, foi desenvolvido o índice  $I_{TI}$  cuja utilidade é particularmente relevante quando existem diversos elementos decorativos com características semelhantes e as decisões de intervenção têm de ser tomadas individualmente. Para atender aos fatores identificados anteriormente, a metodologia proposta para a definição do referido índice considera a influência de diversos critérios qualitativos e quantitativos associados ao estado de conservação e às principais características do elemento patrimonial em análise.

### 2.1 O índice de intervenção proposto $I_{TI}$

O índice proposto foi desenvolvido de modo a estabelecer uma medida quantitativa que permita recomendar a reparação *in situ* do elemento decorativo em análise ou a sua substituição. Este índice pondera a influência de diversos critérios qualitativos e quantitativos cuja classificação é definida de acordo com as características e o nível de degradação do elemento decorativo. Simultaneamente, o parâmetro  $I_{TI}$  foi desenvolvido de modo a ter em conta diferentes restrições que poderão condicionar o tipo de intervenção admissível. Como referido na Secção anterior, algumas dessas restrições estão relacionadas com a preservação do valor patrimonial dos elementos decorativos, devendo a análise destas restrições ser ponderada e combinada com

restrições relacionadas com requisitos de segurança e durabilidade, bem como com aspetos que envolvem o tempo e o orçamento disponíveis.

O índice proposto  $I_{TI}$  é quantificado para cada elemento decorativo individual e reflete a combinação ponderada de sete critérios ( $C_1$  to  $C_7$ ) de acordo com:

$$I_{TI} = \frac{\sum_{i=1}^7 C_i \times w_i}{\sum_{i=1}^7 w_i} \quad (1)$$

onde  $C_i$  corresponde à classificação atribuída ao critério de ordem  $i$  e  $w_i$  é o fator de importância do critério de ordem  $i$ . Alguns dos critérios selecionados são classificados diretamente enquanto que outros são dependentes de parâmetros adicionais (P1 a P9) que a seguir serão detalhados. Os critérios selecionados, os dados e parâmetros tidos em consideração na sua quantificação e o seu fator de importância são:

- $C_1$  – Critério associado à durabilidade dos elementos decorativos: Este critério combina informação acerca do grau de fissuração do elemento (P1), da existência e localização da armadura (P2), do nível de corrosão da armadura (P7), e da quantidade de reparação requerida pelo elemento (P8). O fator de importância  $w_1$  é considerado como sendo igual a 5.
- $C_2$  – Critério associado ao cumprimento do prazo da obra: A classificação deste critério combina informação acerca do tamanho do elemento (P3), da dificuldade em construir uma réplica do elemento (P4), da dificuldade de fixação da réplica à construção (P5), e do nível de reparação necessário para este elemento (P8). O fator de importância  $w_2$  é considerado como sendo igual a 5.
- $C_3$  – Critério associado ao risco de colapso ou de queda pontual do elemento decorativo: A classificação deste critério depende do risco associado à queda e consequente destruição do elemento e da possibilidade de se observar o estado de conservação a partir do solo. O fator de importância  $w_3$  é considerado como sendo igual a 5.
- $C_4$  – A autenticidade do elemento decorativo: A classificação deste critério depende se o elemento decorativo é autêntico ou não (i.e. se o elemento decorativo é uma réplica ou se já foi previamente restaurado). O fator de importância  $w_4$  é considerado como sendo igual a 4.
- $C_5$  – A repetitividade do elemento decorativo: A classificação deste critério depende do número de vezes que um dado elemento decorativo se encontra repetido no edifício patrimonial que se encontra em análise (P6). O fator de importância  $w_5$  é considerado como sendo igual a 3.
- $C_6$  – A evolução do estado de degradação do elemento decorativo nos últimos anos: A classificação deste critério reflete a evolução do estado do elemento baseado no conhecimento das suas condições alguns anos antes. O fator de importância  $w_6$  é considerado como sendo igual a 1.
- $C_7$  – O potencial de substituição do elemento decorativo. Este critério combina informação acerca do grau de fissuração do elemento (P1), do nível de corrosão da armadura (P7) e do nível de reparação necessário para este elemento (P8). A classificação do critério envolve informação acerca do tamanho do elemento (P3), da dificuldade em construir uma réplica do elemento (P4) e da dificuldade de fixação da réplica à construção (P5). O fator de importância  $w_7$  é considerado como sendo igual a 5.

Combinando a classificação atribuída aos diferentes critérios através da **Equação (1)**, obtém-se então o índice de intervenção  $I_{TI}$  cujo valor varia entre 0 e 3. Caso se obtenha um valor do índice de intervenção inferior a 2, recomenda-se que o elemento decorativo em análise seja reparado e consolidado. Caso contrário, é sugerida a substituição do elemento.



### 3. Caso de estudo: o Teatro Nacional de São João

O Teatro Nacional de São João é um monumento nacional localizado na cidade do Porto, Portugal. Após o edifício original ter sido destruído por um incêndio em 1908, iniciou-se em 1910 a construção do edifício atual do teatro, sob a direção do arquiteto Marques da Silva, o mais importante arquiteto do Porto no seu tempo que estudou em Paris na L'Ecole des Beaux-Arts.

A arquitetura Beaux-Arts expressa um estilo arquitetónico neoclássico que combina decorações escultóricas de influência grega e romana com ideias renascentistas e que está muito presente no Teatro Nacional de S. João. É um estilo muito ornamentado, sendo a abundância de elementos como balaustradas, estátuas, colunas, grinaldas, pilastras entre portas e janelas e grandes escadarias típica deste estilo arquitetónico. No caso do Teatro Nacional de São João, estes elementos decorativos existem em todas as fachadas (com uma área total de cerca de 4800m<sup>2</sup>) e são construídos em betão com elementos metálicos incorporados (varões ou a vulgar rede de galinheiro) **Figura 2**. Alguns dos elementos decorativos, nomeadamente os que são constituídos por padrões vegetais e geométricos, repetem-se ao longo das fachadas.

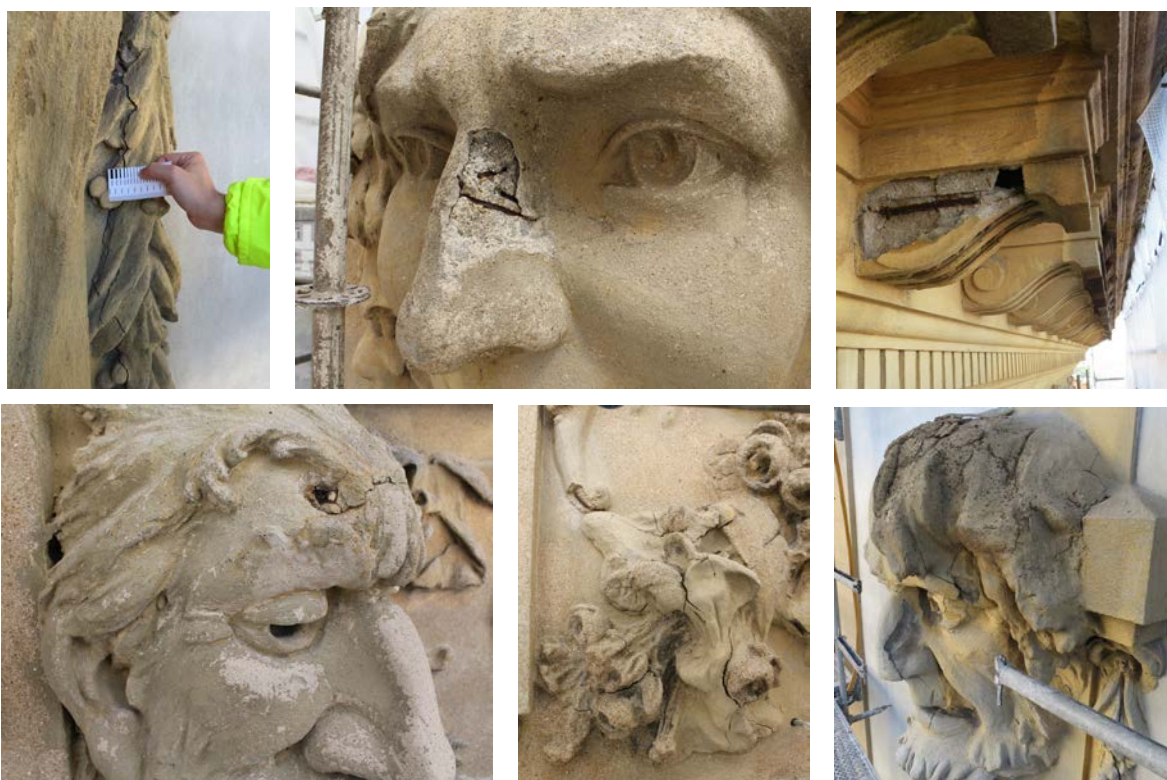


**Figura 2** – Fachadas e elementos escultóricos e decorativos em betão armado do Teatro Nacional de São João

Há alguns anos atrás, as fachadas do Teatro Nacional de São João começaram a exibir diversos sinais de deterioração, devido ao desgaste acumulado das superfícies em betão, à corrosão da armadura dos elementos de betão armado. Estes danos originaram a queda de pedaços de cimento/betão destes mesmos elementos escultóricos, situação que motivou a instalação de redes de proteção para impedir a sua queda sobre os transeuntes. O desenvolvimento de um projeto de conservação das fachadas era, por conseguinte,

urgente. Tendo em consideração os problemas já referidos, como a corrosão do aço e a delaminação do betão, a conservação e preservação dos diferentes e inúmeros elementos decorativos, na perspetiva da manutenção da autenticidade, apresentava dificuldades técnicas aliadas a diferentes soluções de intervenção.

Para além da fissuração e delaminação do betão, provocadas pela corrosão dos varões de aço, existiam ainda outros danos relacionados com a presença de guano proveniente do excesso de pássaros sobre as fachadas e de outros depósitos superficiais. Na **Figura 3** ilustra-se o estado de degradação de alguns dos elementos de betão armado das fachadas do teatro.



**Figura 3** – Exemplo de danos nos elementos escultóricos e decorativos em betão armado do Teatro Nacional de São João

Para planear e preparar adequadamente a intervenção foi necessário executar um levantamento dos danos e do nível de degradação das fachadas, esculturas e elementos decorativos. A avaliação inicial do estado de degradação foi efetuado antes de qualquer operação de limpeza nas fachadas. No entanto, o conhecimento rigoroso do referido estado de degradação apenas foi possível após o final destas operações de limpeza (**Figura 4**).





**Figure 4** – Operações de limpeza: remoção de depósitos a); micro abrasão b) e exemplo de um elemento escultórico antes c) e depois da limpeza d)

Como complemento da inspeção realizada, foram retiradas algumas amostras de betão das fachadas para análises laboratoriais de modo a determinar a sua composição, traço e características mecânicas. Esta análise permitiu o conhecimento do ligante (NHL) e permitiu a escolha dum material de reparação que possuísse propriedades compatíveis com o original.

As operações de limpeza revelaram ainda que ocorreu (em meados do século XX) uma intervenção não registada nas fachadas, dado que alguns elementos decorativos exibiam camadas de argamassa adicionais, existindo desta forma alterações na volumetria original da peça. Noutros casos, a inspeção possibilitou concluir que alguns dos elementos decorativos tinham sido já substituídos, eventualmente na referida intervenção não registada. Assim, o presente projeto de intervenção previu a possibilidade de construir moldes dos elementos originais, de modo a substituir os previamente intervencionados em meados do século XX ou outros cujo estado de degradação não permitisse a sua manutenção. Os elementos selecionados para substituição consistiram naqueles que exibiam um estado de degradação elevado e que necessitavam de níveis de reparação incompatíveis com a preservação da sua autenticidade garantindo, simultaneamente, a segurança contra a queda de pedaços escultóricos na via pública.

Ainda que o objetivo principal da intervenção fosse a conservação das fachadas, necessidades de segurança e de preservação do existente poderiam ditar a necessidade de haver uma atuação mais profunda. Atendendo ao elevado número de elementos decorativos e à dificuldade em conjugar todos os fatores que influenciavam o tipo de intervenção num dado elemento decorativo, o índice de intervenção  $I_T$  foi utilizado como auxiliar do processo de decisão acerca do tipo de intervenção a realizar.

### 3.1 Aplicação do índice de intervenção $I_T$ ao Teatro Nacional de São João

Para aplicar a metodologia proposta, foi necessário uma identificação e numeração preliminar dos elementos decorativos. Esta operação foi conduzida por uma equipa de conservadores, arquitetos e engenheiros envolvidos no projeto. Em alguns casos, a referida identificação não foi fácil dado o grande nível de interligação entre elementos decorativos consecutivos (**Figura 5**). Nestes casos, os elementos individuais foram selecionados com base em critérios de simetria e repetitividade.








**Figura 5** – Exemplo da interligação considerável entre elementos decorativos

Ainda que o índice proposto estabeleça um conjunto de critérios objetivos para caracterizar um dado elemento, a classificação de alguns aspetos envolve, em alguns casos, um certo grau de subjetividade. Classificar a dificuldade em construir um molde para replicar um elemento (P4) ou em definir, com absoluta certeza, a autenticidade de um elemento decorativo (C4) são exemplos de fatores que podem envolver um certo grau de subjetividade.

O grau de limpeza das fachadas é igualmente decisivo nos resultados fornecidos pelo índice. Como mencionado anteriormente, a análise completa do estado de conservação dos elementos decorativos só foi possível após a conclusão das operações de limpeza pois, em muitos dos casos, camadas de sujidade, crostas negras ou tinta ocultavam o estado de conservação real. Finalmente, refere-se que na definição do valor do índice  $I_{TI}$ , o critério C6 foi analisado de acordo com a evolução do estado de deterioração dos elementos decorativos desde 1995, altura em que o estado de conservação das fachadas foi inspecionado e algumas operações de reabilitação foram realizadas em certas zonas do edifício.

De modo a ilustrar alguns dos resultados obtidos após a aplicação da referida metodologia ao Teatro Nacional de São João, apresenta-se na **Figura 6** o valor de  $I_{TI}$  para sete elementos decorativos em betão armado.

1	2	3	4	5	6	7
						
1.21	1.71	2.48	1.47	1.77	2.52	2.34

**Figura 6** – Exemplos de aplicação do índice para diferentes elementos decorativos em função do seu estado de conservação

Como se observa, os resultados sugerem a substituição dos elementos 3, 6 e 7. No caso do elemento 6, e comparando-o com o elemento 5 (semelhante ao elemento 6), o resultado de “substituição” dado pelo índice deve-se ao facto deste elemento exibir um alto nível de degradação, com corrosão severa das armaduras e delaminação do betão, sendo estimado que 75% do seu volume necessitava de consolidação. Por outro lado, o elemento 5 não apresentava sinais de corrosão nas armaduras, nem de delaminação do betão, tendo sido estimado que as operações de consolidação envolviam menos de 25% do seu volume. No que diz respeito ao elemento 7, os fatores que conduziram à necessidade de “substituição” do elemento relacionam-se com os níveis de corrosão nas armaduras, com o estado de fissuração do betão, com o facto de mais de 50% do seu volume necessitar de ser consolidado e, por último, por não ser um elemento original. O elemento 3, para além de se encontrar bastante fissurado e com necessidade de consolidação, é um elemento bastante pequeno, fácil de replicar, o que justifica o facto do resultado do índice apontar para a sua substituição.



## 5. Conclusões

A conservação de património histórico edificado em betão armado do início do século XX apresenta-se como um novo desafio pois as premissas das intervenções são, em muitos aspetos, diferentes das utilizadas em construções mais antigas. Também o conhecimento técnico sobre o comportamento de materiais e formas de intervir neste tipo de edifícios não é abundante, pois só agora começam a aparecer intervenções para a sua reparação. Além disso, a dificuldade do tipo de atuação na reparação é mais premente quando se está a lidar com elementos escultóricos e decorativos em betão armado com corrosão de armaduras e delaminação de betão, pois “perde-se” parte da escultura com a desagregação do betão.

O objetivo principal de uma intervenção passa pela preservação de todos os elementos, envolvendo operações de reparação e consolidação que, tanto quanto possível, devem salvaguardar a sua autenticidade. À parte da necessidade de salvaguardar o valor cultural, outros aspetos deverão no entanto ser considerados importantes, nomeadamente aqueles relacionados com a segurança (no caso de elementos escultóricos adossados às fachadas) e com a durabilidade das intervenções.

Dada a dificuldade em equilibrar todos os fatores que influenciam o tipo de intervenção a realizar, especialmente quando existe um largo número de elementos decorativos com características similares e decisões de intervenção que precisam de ser realizadas individualmente, foi desenvolvido um índice de intervenção  $I_{\pi}$  como auxiliar do processo de decisão. O principal objetivo deste índice é o de combinar com diferentes pesos aspetos fundamentais que devem ser considerados na intervenção, eliminando-se subjetividades de análise devido a diferentes condicionantes à data da avaliação. Os elementos indicados como “a substituir” pelo índice desenvolvido foram os que, com base na avaliação, apresentavam um estado de degradação que, de modo a cumprir exigências de segurança face ao risco de queda na via pública de partes da escultura, exigiriam um nível de reparação incompatível com a manutenção da sua autenticidade.

Ainda que o índice proposto envolva um conjunto objetivo de critérios para caracterizar um dado elemento, o peso de alguns dos critérios considerados pode ser, por vezes, subjetiva. Chama-se ainda a atenção para o facto de, muitas vezes, não ser possível realizar uma avaliação fiável do estado de degradação dos elementos decorativos antes das operações de limpeza, uma vez que os depósitos que se sobrepõem encobrem os danos e a sua intensidade.

## Referências Bibliográficas

- Bertolini Luca, Elsener Bernhard, Pedferri Pietro, Polder Rob. 2004. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis and Repair. Berlin: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN: 3527308008.
- Gaudette Paul, Slaton Deborah. 2007. Preservation Briefs 15: Preservation of Historic Concrete. Technical Preservation Services Division, National Park Service, US Department of the Interior, Washington, DC.
- Mailvaganam Noel. 1992. Repair and Protection of Concrete Structures. Boca Raton, Florida: CRC Press. ISBN-13: 978-0849349935
- Page Chris. 2012. Degradation of reinforced concrete: Some lessons from research and practice. Materials and Corrosion, 2012, 63(12), 1052-1058